



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 43 08 753 C 1

⑤① Int. Cl.⁵:
G 05 D 3/12
G 01 B 11/03
G 06 F 15/66

②① Aktenzeichen: P 43 08 753.1-33
②② Anmeldetag: 19. 3. 93
④③ Offenlegungstag: —
④⑥ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 21. 7. 94

DE 43 08 753 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:
Deutsche Aerospace AG, 80804 München, DE

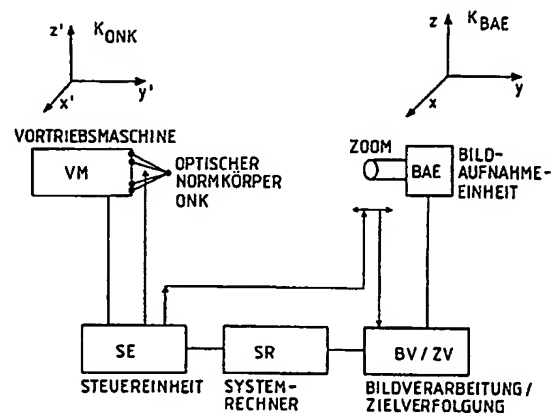
⑦② Erfinder:
Lill, Ernst, Dipl.-Phys. Dr., 81547 München, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	41 01 156 A1
DE	40 38 860 A1
DE	39 09 762 A1
DE	82 03 023 U1
DD	1 15 957
US	37 08 232
US	37 07 330
US	36 19 618

⑤④ Verfahren und Einrichtung zur bildgestützten Lageerkennung

⑤⑦ Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Einrichtung hierzu, bei dem die Orientierung objektbezogener Koordinatensysteme relativ zu einem ortsfesten Koordinatensystem einer Bildaufnahmeeinheit präzise und mit einfachen Mitteln der Bildverarbeitung erfaßt wird. Ausführungsbeispiele sind erläutert.



DE 43 08 753 C 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren, mit dem die Orientierung objektbezogener Koordinatensysteme relativ zu einem ortsfesten Koordinatensystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ermöglicht wird, und auf eine Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Beim Stand der Technik ist die Erfassung eines nicht raumfesten, objektbezogenen Koordinatensystems relativ zu einem festen Koordinatensystem realisiert worden. So ist aus der DE 41 01 156 A1 ein Verfahren bekannt, bei dem zur Ortsüberwachung codierte Infrarotsignale verwendet werden, die von auf den beweglichen Objekten montierten Infrarotsendern emittiert und von einer ortsfest installierten CCD-Kamera registriert werden.

Eine weitere Ausführungsform offenbart die DE 39 09 762 A1, in der ein System zur Bestimmung der Lage im Raum mit Hilfe eines videoptischen Sensors, der vorbestimmte Merkmale eines Objekts erfasst und entsprechende Signale erzeugt, die zur Steuerung einer Handhabungseinheit — im vorliegenden Fall die Aufnahmeklaue eines Müllfahrzeugs — verarbeitet werden.

Als ein weiteres Beispiel sei die Vortriebssteuerung im Tunnelbau angeführt. Hier legt bei einem geplanten linearen Vortrieb ein präzise ausgerichteter Laserstrahl die gewünschte Vortriebsrichtung fest. Bei diesem sogenannten Strahlenverfahren wird die Abweichung der am Heck der Vortriebsmaschine angebrachten Bezugspunkte, die vorwiegend optische Empfangselemente mit einer Auswerteelektronik sind, relativ zu der vom Laserstrahl vorgegebenen Sollrichtung vermessen. Mit dieser Methode aber werden Roll-, Nick- und Gierbewegungen nicht unmittelbar vermessen, sondern aufgrund des daraus resultierenden Bahnverlaufs nur indirekt und obendrein noch mit einer gewissen Verzögerung erfasst. Dies führt dazu, daß sich die Vortriebsmaschine nicht wunschgemäß geradlinig vorarbeitet. Ihr Weg variiert in Wirklichkeit dreidimensional um den Laserrichtstrahl.

Ein weiterer Nachteil dieser Methode ist die Notwendigkeit einer "Sichtverbindung" zwischen Laser und den am Heck der Vortriebsmaschine angebrachten optischen Sensorelementen. Ist dies beispielsweise aufgrund einer Bahnkrümmung nicht mehr gewährleistet, so ist eine Neuplatzierung des Lasers mit einer zeitaufwendigen Vermessung und Strahljustierung erforderlich.

Hinzu kommt noch, daß der Einsatz von Lasergeräten aufgrund der gebotenen "Augensicherheit" streng reglementiert und daher oft nicht möglich ist. Die vorgeschriebenen Nachteile könnten durch den Einsatz von Dreiaachsen-Kreiselsystemen vermieden werden. Dies ist jedoch in den meisten praktischen Anwendungsfällen aufgrund rauher Umweltbedingungen, der Forderung nach periodischen Koordinatenüberprüfungen und -korrekturen und nicht zuletzt aus Kostengründen nicht sinnvoll.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Einrichtung zur Realisierung desselben aufzuzeigen, mit dem die Achsorientierung eines manövrierbaren Objektes, beispielsweise einer Tunnelvortriebsmaschine, zum Festkoordinatensystem des Beobachters nahezu aufwandslos, aber mit hoher Genauigkeit kontinuierlich ermittelt wird.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 aufgeführten Maßnahmen gelöst. In den Unteransprüchen sind Ausgestaltungen und Weiterbildungen angegeben und in der nachfolgenden Beschreibung sind Ausführungsbeispiele erläutert und in den Figuren der Zeichnung skizziert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Blockschaltbild mit einer Prinzipdarstellung von Vortriebsmaschine und Bildaufnahmeeinheit mit deren Verknüpfung und Koordinatensystemen und

Fig. 2 drei Ausführungsbeispiele (2a—2c) für die mögliche Orientierung des optischen Normkörpers am Heck der Vortriebsmaschine.

Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, einen dreidimensionalen Körper mit an seinen Träger, hier eine Tunnelvortriebsmaschine VM, angepaßter Form mit optisch markanten Elementen, wie Leuchtdioden etc., zu kennzeichnen und so einen sogenannten optischen Normkörper ONK zu erhalten. Dieser Normkörper wird nun während des Vortriebs kontinuierlich mittels einer Bildaufnahmeeinheit BAE beobachtet und so laufend Aufschluß über seine jeweiligen Achsorientierungen (Koordinatensystem K_{ONK}) in bezug zum Koordinatensystem des Beobachters (Koordinatensystem K_{BAE}) erhalten und zur Korrektur der Zielverfolgung an eine Steuereinheit SE eingegeben.

Hierbei wird die Orientierung des Koordinatensystems der in ihrer Bewegung zu steuernden Einheit VM, die mit dem vorstehend angegebenen optischen Normkörper ONK ausgerüstet ist, durch dessen optische Erfassung durch die Bildaufnahmeeinheit BAE und der nachfolgenden Bildverarbeitungseinheit BV einfach und hochgenau ermittelt.

Da der Aufnahmeeinheit BAE die Abbildungsdaten ebenso wie die geometrische Auslegung des ONK bekannt sind, wird aus den Bilddaten, zusätzlich zur Achsorientierung, direkt die Entfernung zwischen Objekt und Aufnahmeeinheit errechnet. Die so gewonnenen Werte werden in vorteilhafter Weise zum hochgenauen Steuern von Bewegungsabläufen genutzt. Das vorgeschriebene Verfahren ist vielseitig verwendbar und einsetzbar. Ein Ausführungsbeispiel ist nachfolgend beschrieben und die Erfindung an einer Tunnelvortriebsmaschine erläutert.

In Fig. 1 ist dieses Ausführungsbeispiel skizziert. Am Heck der Vortriebsmaschine VM ist der vorstehend schon angesprochene optische Normkörper ONK starr befestigt. Dieser ONK ist nun so ausgebildet, daß die eindeutige Zuordnung seiner Achsen möglich ist. Ein kugelförmiges Gebilde wäre beispielsweise aufgrund seiner hohen Symmetrie völlig ungeeignet, hier ist er — wie auch aus den Fig. 2a bis 2c ersichtlich — als Pyramide ausgebildet.

Die Lage des ONK relativ zur Vortriebsmaschine VM ist ebenso wie die der optischen Bezugspunkte LQU1 bis LQU5 zueinander präzise vermessen und im Bildverarbeitungssystem gespeichert. An den Eckpunkten, die zugleich die vorgenannten Bezugspunkte für das Meßverfahren darstellen, sind Lichtquellen LQU1 bis LQU5 angeordnet, deren Emissionsverhalten zur eindeutigen, individuellen Identifikation spektral und zeitlich definiert ausgelegt ist. Das Emissionsverhalten jeder einzelnen Lichtquelle wird bei Bedarf gezielt von der Steuereinheit aktiviert.

In einer einsatzbedingt festgelegten Entfernung von beispielsweise 50 m befindet sich die mit einer variablen Brennweite ausgestattete Bildaufnahmeeinheit BAE. Über ein Abgriffelement wird der Vergrößerungsfaktor (Zoom) der Optik exakt erfasst und an den Systemrechner SR weitergeleitet. Standort und Beobachtungsrichtung der Bildaufnahmeeinheit BAE sind durch die Festlegung des Koordinatensystems K_{BAE} genau bestimmt. Im Regelfall wird die Abbildung des ONK das gesamte

Bildformat ausfüllen, dazu dient die in ihrer Brennweite variable Optik der BAE.

Steht die Beobachtungsrichtung senkrecht auf der Basisfläche des hier pyramidenförmig gestalteten ONK (siehe Fig. 2a), so wird der Bezugspunkt LQU5 im Bildmittelpunkt, wie die Fig. 2b veranschaulicht, abgebildet. Jede Lage- bzw. Richtungsänderung des ONK und damit der Vortriebsmaschine VM bezüglich der BAE ändert die Lage aller abgebildeten Bezugspunkte LQU1 bis LQU5 in eindeutiger Weise. Ist beispielsweise die Längsachse der Vortriebsmaschine VM relativ zur Beobachtungsrichtung nach unten gekippt, so resultiert daraus die in Fig. 2c veranschaulichte Stellung der Bezugspunkte. Dies wird mit bekannten Algorithmen erfaßt und aus den so gewonnenen Daten ermittelt der Systemrechner SR die aktuelle Entfernung und Achsorientierung des ONK relativ zum Bezugskoordinatensystem des BAE.

Sind Planungsdaten über den Sollverlauf des Vortriebs im System gespeichert, so können diese mit den Ist-Daten verglichen und im Falle von Abweichungen Korrektursignale an die Steuereinheit der VM eingegeben werden. Damit ist auch ein automatischer Vortrieb mit optimierter Plandatengenauigkeit gewährleistet.

In einer zweiten Ausführungsform ist vorgesehen, die Bildaufnahmeeinheit BAE in ihrer Achsrichtung definiert am bewegten Objekt — hier der Vortriebsmaschine VM — starr zu montieren und die zu vermessenden Bezugspunkte LQU1 bis LQU5 stationär in ihrer räumlichen Lage anzuordnen. Das Meßverfahren usw. ist analog wie beschrieben.

In einer speziellen Ausführungsvariante wird bei einem gekrümmten Vortriebsverlauf, jedoch mit gewährleisteter Sichtverbindung, die Achse der Bildaufnahmeeinheit BAE entweder manuell oder automatisch nachgeführt. In jedem Fall werden Änderungen der Beobachtungsrichtung genau erfaßt und als aktualisierte Daten dem Systemrechner zur Auswertung der neuen Konstellation übermittelt. Sind schnelle Bewegungsabläufe auszuwerten, sorgt ein Zielverfolgungsprogramm, das entweder nach dem Korrelationsverfahren oder nach dem Intensitätsverfahren arbeitet, für eine ständig optimierte, zuverlässige Nachführung der BAE. Die hierfür geeigneten Algorithmen zählen zum Stand der Technik.

Diese Maßnahmen bewirken, daß die Abbildung des ONK das gesamte Bildformat ausfüllt. Damit wird das Auflösungsvermögen, beispielsweise gegeben durch die Pixelanzahl des CCD-Elements, für die maximale Meßgenauigkeit genutzt.

Die Ausgestaltungen der Einrichtung können vielfältig sein. So kann zur Erfassung der Lage des ONK die Projektion der durch die Bezugspunkte LQU1—LQU5 festgelegten Bezugsflächen auf die Bildebene der Bildaufnahmeeinheit BAE herangezogen werden und diese Bezugsflächen individuell, beispielsweise durch Farabgabe oder Emissionsverhalten, so gestaltet sein, daß sie aufgrund dieser Charakteristika zweifelsfrei und schnell durch die Bildverarbeitung erfaßt werden können.

Durch die Anpassung der optischen Abbildung des optischen Normkörpers ONK auf dem Sensorelement der Bildaufnahmeeinheit, beispielsweise einem CCD, ist die größte Meßgenauigkeit bezüglich der Achsorientierungen und der Entfernung gewährleistet. Durch das Erfassen und Berücksichtigen der Abbildungsparameter der Bildaufnahmeeinheit BAE erfolgt die Ermittlung der Distanz zwischen dem optischen Normkörper ONK

und der Bildaufnahmeeinheit, BAE, die manuell oder automatisch so nachgeführt wird, daß der Normkörper optimal abgebildet wird, die Winkeländerungen präzise erfaßt werden und diese Daten — wie schon erwähnt — bei der Steuerung der Fortbewegung des Objektes berücksichtigt werden.

Ist die Bildaufnahmeeinheit am bewegten Objekt montiert, so besteht eine weitere Ausgestaltungsvariante der Erfindung darin, daß nach der anfänglichen Lageerfassung des Normkörpers natürlich vorhandene oder während der Fortbewegung von VM geschaffene Bezugspunkte zunächst in ihrer Lage relativ zum Normkörper vermessen werden. Dies ergibt einen ersten Satz optischer Stützstellen. Im Verlauf der weiteren Fortbewegung werden weitere Sätze von Bezugspunkten erfaßt und relativ zu den Lagekoordinaten ihrer unmittelbaren Vorgänger vermessen. Mit diesem Vorgehen erhält man für die bildgestützte Lageerfassung eine Folge von Stützstellen im Raum, die eine Navigation der Vortriebsmaschine auch dann erlaubt, wenn die ursprünglich vorhandene Sichtverbindung zwischen BAE und ONK unterbrochen ist.

Patentansprüche

1. Verfahren, mit dem die Orientierung eines objektbezogenen, in seiner Bewegung zu steuernden Koordinatensystems relativ zu einem ortsfesten Koordinatensystem festgestellt und zur Korrektur der Zielrichtung (Vortriebsrichtung) einer zu steuernden Einheit, z. B. einer Vortriebsmaschine verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß die zu steuernde Einheit (VM) mit einem dreidimensionalen Körper mit optischen Elementen (ONK) als optischen Bezugspunkten (LQU1—LQU2) — nachstehend optischer Normkörper genannt — starr verbunden und so ausgebildet ist, daß eine eindeutige Zuordnung seiner Achsen gewährleistet ist und mittels einer in Sichtverbindung in definiertem Abstand angeordneten Bildaufnahmeeinheit (BAE) die optischen Bezugspunkte (LQU1—LQU2) des optischen Normkörpers (ONK) hochgenau erfaßt und in einer nachgeordneten Bildverarbeitungseinheit (BV) wertmäßig aus den Achsorientierungen des Koordinatensystems der zu steuernden Einheit (KONK) in bezug zum Koordinatensystem der Bildaufnahmeeinheit (KBAE) ermittelt werden, wobei die Lage des optischen Normkörpers (ONK) relativ zur gesteuerten Einheit (VM) und die Lage der optischen Bezugspunkte (LQU1—LQU2) zueinander präzise vermessen und die Werte im Speicher eines Systemrechners (SR) gespeichert sind und einer Steuereinheit (SE) zur Steuerung der Bewegungsabläufe eingegeben werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Sensorachse der Bildaufnahmeeinheit (BAE) manuell oder automatisch nachführbar ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Zielverfolgungsprogramms im Systemrechner (SR) nach dem Korrelationsverfahren oder nach dem Intensitätsverfahren kontinuierlich eine optimierte Nachführung der Bildaufnahmeeinheit (BAE) durchgeführt wird.
4. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß am Heck der Vortriebsmaschine (VM) ein dreidimensionaler optischer Normkörper (ONK) starr befe-

stigt ist, an dessen Eckpunkten Lichtquellen (LQU1—LQU5) angeordnet sind, deren Emissionsverhalten zur eindeutigen, individuellen Identifikation spektral und zeitlich definiert ausgelegt ist, und daß in einer definierten Entfernung zum Vortriebskörper (VM) diesem eine mit variabler Brennweite ausgerüstete Bildaufnahmeeinheit (BAE) zugeordnet ist.

5. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der optische Normkörper (ONK) in seiner geometrischen Form als Pyramide ausgebildet ist, an deren Ecken die Lichtquellen (LQU1—LQU5) angeordnet sind.

6. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß am Heck der Vortriebsmaschine (VM) die mit variabler Brennweite ausgerüstete Bildaufnahmeeinheit (BAE) in ihrer Achsorientierung definiert montiert ist und die zu vermessenden Lichtquellen (LQU1—LQU5) als Bezugspunkte in ihrer räumlichen Lage stationär angeordnet sind.

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Emissionsverhalten der einzelnen Lichtquellen (LQU1—LQU5) gezielt von der Steuereinheit (SE) aktiviert wird.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergrößerungsfaktor der Optik (Zoom) über ein Abgriffelement erfaßt und dem Systemrechner eingegeben wird.

9. Einrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die in der Umgebung der Vortriebsmaschine (VM) bereits vorhandenen oder künstlich geschaffenen und von der Bildaufnahmeeinheit (BAE) erfaßten optischen Bezugspunkte je nach Fortbewegungsgeschwindigkeit und Bahnverlauf in ihrer Lage zunächst relativ zum optischen Normkörper (ONK) im weiteren Verlauf untereinander vermessen werden, um eine Lageerfassung der Vortriebsmaschine (VM) auch dann zu gewährleisten, falls die direkte Sichtverbindung zwischen der Bildaufnahmeeinheit und dem optischen Normkörper unterbrochen ist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

45

50

35

60

65

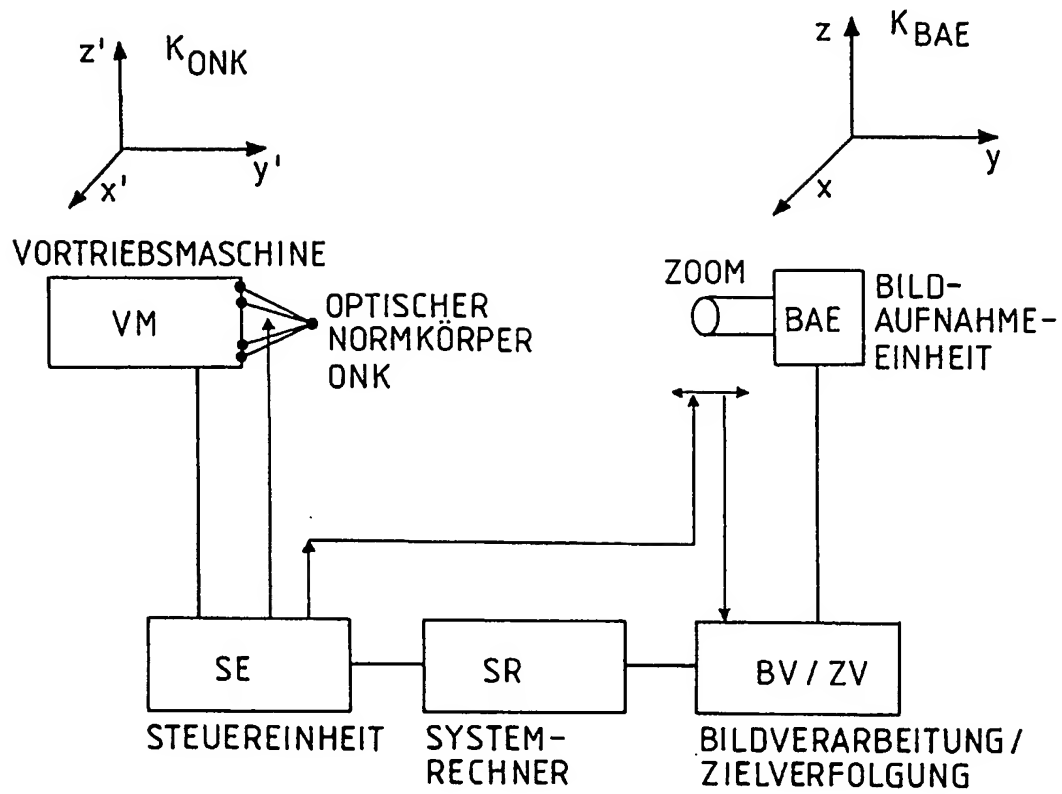


FIG. 1

